

团 体 标 准

T/SCEA XXXX—XXXX

蒸汽管网热工检测与评定方法

Thermal detection and evaluation method of steam network

(报批稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

上海市循环经济协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 测试方法	2
4.1 电功率法	2
4.2 保温层间温差法	3
4.3 表面温度法	5
4.4 热流计法	6
4.5 热平衡法	6
5 测试分级和条件	7
5.1 测试分级	7
5.2 测试条件	7
5.3 测试仪器、仪表	7
6 检测程序	8
6.1 检测准备	8
6.2 检测仪器仪表的布置	8
6.3 检测过程操作	8
7 检测数据误差	9
7.1 数据误差分析和处理	9
7.2 数据误差范围	9
8 测试结果评定	9
8.1 蒸汽管网热效率	9
8.2 蒸汽管网的质量管损	9
8.3 蒸汽管网的比压降	10
8.4 蒸汽管网的比温降	10
8.5 蒸汽管网管线的线热流密度	10
8.6 蒸汽管网管线的附加散热系数	12
8.7 直埋敷设蒸汽保温管保温层外表面温度	12
8.8 蒸汽管网的量长比	12
9 检测报告	14
9.1 报告内容	14
9.2 报告的出具以及保存	14
附录 A（资料性） 干空气物理性质	15
附录 B（资料性） 土壤导热系数	16
附录 C（资料性） 常用保温结构材料黑度 ϵ 参数	17
附录 D（资料性） 管网检测数据记录/数据处理表形式	18

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海市循环经济协会和上海科华热力管道有限公司提出。

本文件由上海市循环经济协会标准化专业技术委员会归口。

本文件起草单位：上海科华热力管道有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、上海亨斯迈聚氨酯有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司、华东理工大学工程设计研究院有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司、浙江省绿色产业发展促进会、江苏省循环经济协会。

本文件主要起草人：陈雷、陈天养、吴晓菁、罗旭光、钟华亮、裘益奇、周俊飞、潘泽刚。

首批承诺执行本文件的单位：上海科华热力管道有限公司、武汉市燃气热力规划设计院有限公司、上海亨斯迈聚氨酯有限公司、浙江阿斯克建材科技股份有限公司、华东理工大学工程设计研究院有限公司、上海燃气工程设计研究有限公司。

蒸汽管网热工检测与评定方法

1 范围

本文件规定了蒸汽管道的压力损失、管道保温结构散热损失测试与管网能耗状况评价的术语、测试方法和结果评定。

本文件适用于蒸汽管道的压力损失、保温结构散热损失测试与管网能耗状况的评价。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8174—2008 设备及管道绝热效果的测试与评价

GB/T 10295 绝热材料稳态热阻及有关特性的测定 热流计法

GB/T 10296—2008 绝热层稳态传热性质的测定 圆管法

GB/T 17357—2008 设备及管道绝热层表面热损失现场测定 热流计法和表面温度法

GB/T 28638—2012 城镇供热管道保温结构热损失测试与保温效果评定方法

GB/T 34060 蒸汽热量计算方法

JJF 1059.1 测量不确定度评定与表示

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

比压降 specific pressure drop

单位长度蒸汽管道中压力下降的量值。

3.2

比温降 specific temperature drop

单位长度蒸汽管道中温度下降的量值。

3.3

质量管损 weight loss ratio

运行中的蒸汽管网在同一时间间隔内流失的蒸汽质量占输入蒸汽总质量的比例。

3.4

热流密度 heat flux density

蒸汽管道通过保温层外表面单位面积散失热量的强度。

3.5

线热流密度 linear heat flux density

单位长度蒸汽管道基本散热量的强度。

3.6

量长比 volume/length ratio

管道中蒸汽流量与自该管道入口起至下游各用户止管线总长度之和的比值。

3.7

附加散热 additional heat dissipation

蒸汽管网总散热量中除通过管道保温层的基本散热量之外的散热量。

4 测试方法

4.1 电功率法

4.1.1 实验室内对送检保温管道试样进行保温效果测试或者产品型式试验可选用电功率法。

4.1.2 采用电功率法应保证足够的实验时长，试件达到稳定工况时保持在稳定工况时长应不小于 24h。

4.1.3 电功率法采用电热装置替代蒸汽对保温管道加热，并模拟管网的环境状况。当达到稳定工况时，电加热器所消耗的功率，就是保温管的线热流密度。

$$q = \frac{10^3 \times N}{L_s} \dots \dots \dots (1)$$

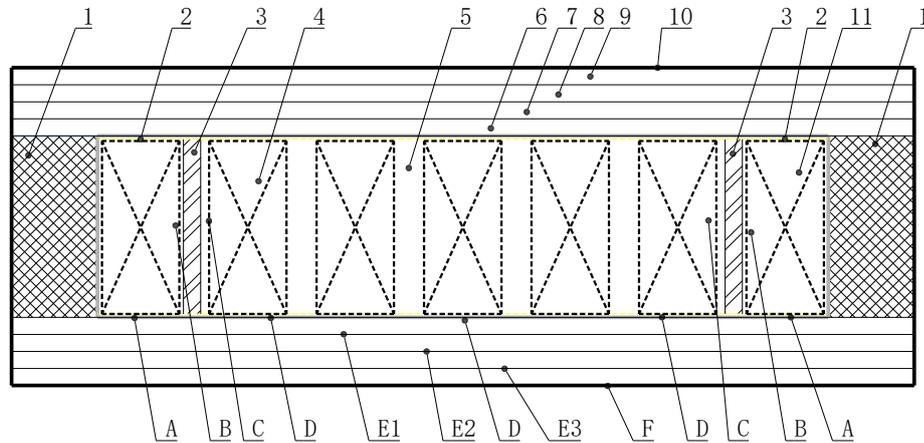
式中：

q ——受检管道的线热流密度，单位为瓦每米（W/m）；

N ——电加热器所消耗的功率，单位为千瓦（kW）；

L_s ——试件有效长度，单位为米（m）。

4.1.4 电功率法的测试装置如图 1 所示。



标引序号说明：

1——保温端封；

2——加热补偿段；

3——保温隔断；

4——主电加热器；

5——主加热段；

6~9——试件保温层；

10——外护管；

11——补偿段电加热器。

温度测点：

A——补偿段外表面测点；

B——保温隔断补偿段侧测点；

C——保温隔断主加热段侧测点；

D——主加热段内表面测点；

E1~E3——保温层界面温度测点；

F——外表面温度测点。

图1 电功率法的测试装置

4.1.5 实验操作要点：

- 保温层内表面测温点沿管道周向均布，至少三点。在管道轴向每间隔 0.5m 设保温层内表面测温点。
- 测试时调节主加热器 4，使保温层内表面温度等于规定的管道内蒸汽温度。
- 调节补偿段电加热器 11，使保温隔断内外表面 B 点和 C 点的温度相等。允许误差 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

- d) 测试时室内环境温度保持稳定在 20°C ，允许波动幅度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。室内相对湿度保持稳定在 70%，允许波动幅度 $\pm 5\%$ 。室内风速小于 0.5m/s 。不准许有日照、强光源及其他热源。
- e) 当各个温度测点间隔 1h 的读数与此前的 5h 内的测量数值平均值波动幅度在 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内，达到 5 次以上，认为试验达到稳定工况。
- f) 所采用的热电偶准确度不大于 0.5°C ，所采用的电加热控制系统有良好的温控性能，温差波动不大于 $1\%t$ (t 为电热器工作温度)，且不大于 3°C 。
- g) 根据 GB/T 10296—2008 标准 7.9 条，测量计量段加热器的平均功率测试系统的准确度达到 $\pm 0.5\%$ 。

4.1.6 试件主加热段长度不应小于 1.2 米，试件加热补偿段的长度不应小于 0.2 米。

4.1.7 试件在达到稳定工况之后，记录主电加热器功率表读数。每隔 1 小时记录主电加热器电功率表读数。连续记录时间不小于 24h，逐时电功率差值与测量时长内的每小时电功率算术平均值差值应不超过每小时电功率算术平均值的 5%。最终功率数与起始功率数之差既是电加热器所消耗的功率 N ，计算测试时间内平均值，为试件线热流密度。结果除以试件主加热段长度 L_s ，得到试件线热流密度 q 。

4.2 保温层间温差法

4.2.1 实验室内对送检保温管道试样进行保温效果测试或者进行型式试验可以采用保温层间温差法，在线热网保温管检测也可以采用保温层间温差法。

4.2.2 保温层间温差法温度测量可采用热电偶或热电阻。同一个试件中采用的测温元件应为同一类型，测温元件属于同一准确度等级并且使用前经过校准

4.2.3 测温热电偶或热电阻按图 1 方法布置。管道轴线方向每一排侧温点取在同一横截面上，由内层向外层测温点应在同一法线上。每一层的测温点在圆周方向至少应设置 3 个。在管道轴向，测温点也设置 3 排，每排间距 0.5m ，试件检测时外侧的测点距离试件端部距离不小于 0.2m 。

4.2.4 测温热电偶或热电阻元件应预先布置在试件保温层间，包括保温层内、外表面。测量管道保温结构中保温层层间温差时，在各横断面及各圆周角，同一保温层厚度应一致，厚度测量偏差应不超过该保温层名义厚度的 $\pm 2\%$ 。如果是保温完成后才在保温层间安置测温元件，应按原保温结构和原保温材料修复，达到保温结构初始状态。

4.2.5 所测的温度数据参照表 1 的形式进行记录，利用公式 (2) 依据各径向的各层间测点的温度数据计算出每层热流密度，完成各层的热流密度的计算，再计算各横截面的热流密度平均值。

表1 层间温度测量记录表

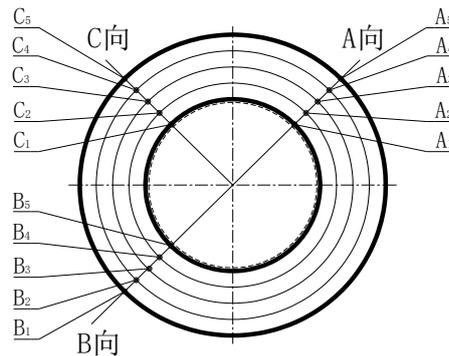
单位摄氏度

检测截面位置	检测位置编号			
	A 向	B 向	C 向
第一层温度				
第二层温度				
第三层温度				
.....				
记录时间				
记录人:	记录编号:			

表2 热流密度分析记录表

单位瓦每米

	A 向	B 向	C 向
	第一层热流密度			
第二层热流密度				
第三层热流密度				
.....				
平均热流密度				



说明:

A₁~A₅: A向法线测点;

B₁~B₅: B向法线测点;

C₁~C₅: C向法线测点。

图2 保温层间温差法计算分析示意图

4.2.6 单层保温材料线热流密度和热流密度按公式(2)、公式(3)计算,保温材料的导热系数按公式(4)计算:

$$q = \frac{2\pi\lambda(t_i - t_0)}{\ln(d_0/d_i)} \dots\dots\dots (2)$$

$$q_a = \frac{q}{\pi D} \dots\dots\dots (3)$$

$$\lambda = a + bt_m + ct_m^2 + dt_m^3 \dots\dots\dots (4)$$

式中:

q ——受检管道的线热流密度,单位为瓦每米(W/m);

λ ——内外测温点之间保温材料的导热系数,单位为瓦每米摄氏度[W/(m·°C)];

t_i ——第*i*个管道保温层内侧测温点温度,单位为摄氏度(°C);

t_0 ——管道保温层外侧测温点温度,单位为摄氏度(°C);

d_0 ——外侧测温点保温层直径,单位为米(m);

d_i ——第*i*个内侧测温点保温层直径,单位为米(m);

q_a ——蒸汽保温管热流密度,单位为瓦每平方米(W/m²);

D ——蒸汽保温管总保温层外径,单位为米(m);

a ——导热系数公式中系数,无因次;

b ——导热系数公式中系数,无因次;

t_m ——内侧和外侧测温点温度的算术平均值,单位为摄氏度(°C);

c ——导热系数公式中系数,无因次;

d ——导热系数公式中系数,无因次。

4.2.7 多层保温材料形成的保温结构,其蒸汽保温管热流密度和线热流密度按公式(5)和公式(6)计算:

$$q_1 = \frac{2\pi\lambda_1(t_0 - t_1)}{\ln(d_1/d_0)} \dots\dots\dots (5)$$

$$q_n = \frac{2\pi\lambda_n K(t_{n-1} - t_n)}{\ln(d_n/d_{n-1})} \dots\dots\dots (6)$$

且应当保持:

$$q_1 = q_2 = \dots = q_n \dots\dots\dots (7)$$

式中:

n ——蒸汽保温管保温结构层数,无因次;

K ——保温材料吸潮修正系数,无因次;

所在区域温度小于 100℃的非真空保温层，该层保温材料因吸潮应乘以修正系数 K ，对闭孔泡沫保温材料，如硬质聚氨酯泡沫、聚苯乙烯泡沫、聚乙烯泡沫和泡沫玻璃， K 等于 1.0。其他非闭孔保温材料，根据吸潮程度轻重可分别取 K 等于 1.1~1.7 不等。

4.3 表面温度法

4.3.1 表面温度法适用于蒸汽管网现场检测和保温管道送检样品实验室检测。

4.3.2 当用于地上架空、管沟、管廊中架空敷设蒸汽保温管道保温效果检测时，应测量蒸汽保温管保温结构外表面温度、环境空气温度、环境空气湿度、风速、风向。还应测量蒸汽保温管保温结构外防护层直径。

4.3.3 表面温度法测试前环境测试条件应符合 GB/T 8174—2008 中 5.7 条规定，测量位置的选取按照 GB/T 17357—2008 中第 6 章进行。

4.3.4 采用表面温度法进行测量时，温度测点布置宜采用 GB/T 28638—2012 中 6.2 条布置的形式。对同一管道位置的检测应至少在两个横截面布置温度测点。

4.3.5 应用表面温度法测试蒸汽保温管的线热流密度采用公式 (8) 计算：

$$q = \alpha \times \pi \times D \times (t_w - t_f) \dots\dots\dots (8)$$

式中：

α ——蒸汽保温管保温结构外表面总换热系数，单位为瓦每平方米摄氏度 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]；

D ——蒸汽保温管总保温层外径，单位为米 (m)；

t_w ——蒸汽保温管保温结构外表面温度，单位为摄氏度 ($^\circ C$)；

t_f ——蒸汽保温管周围环境空气温度，单位为摄氏度 ($^\circ C$)。

4.3.6 架空敷设蒸汽保温管道总放热系数包括对流放热部分和辐射放热部分，由公式 (9) 计算：

$$\alpha = \alpha_c + \alpha_r \dots\dots\dots (9)$$

式中：

α_c ——对流放热系数，单位为瓦每平方米摄氏度 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]；

α_r ——辐射放热当量对流放热系数，单位为瓦每平方米摄氏度 [$W/(m^2 \cdot ^\circ C)$]。

4.3.7 户外架空蒸汽保温管道对流放热系数用公式 (10) 计算：

$$\alpha_c = 11.63 + 7 \times \sqrt{v} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

v ——风速，单位为米每秒 (m/s)。

在户外蒸汽管线的计算中， α 取值 α_c 。

4.3.8 室内、管廊中和地沟中架空敷设的管道同时考虑对流放热和辐射放热。用公式(11)至公式(15)计算。水平管道属于层流对流放热时用公式 (11) 计算对流放热系数。属于紊流时用公式 (12) 计算对流放热系数。

$$\alpha_c = 1.16 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (11)$$

$$\alpha_c = 1.27 \times \left(\frac{t_w - t_f}{D} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (12)$$

判断管道周围空气流动状态用格拉晓夫数 Gr 和普朗特数 Pr 的乘积，当 $GrPr < 10^9$ 时，属于层流状态。当 $GrPr > 10^9$ 时属于紊流状态。格拉晓夫数用公式 (13) 计算：

$$Gr = \frac{\beta g \Delta t D^3}{\nu^2} \dots\dots\dots (13)$$

式中：

β ——空气体积膨胀系数，单位为每摄氏度 ($^\circ C^{-1}$)；

g ——重力加速度，单位为米每平方秒 (m/s^2)，取值为 9.81；

Δt ——蒸汽保温管保温层外表面温度与周围环境空气温度之差，单位为摄氏度 ($^\circ C$)；

D ——蒸汽保温管总保温层外径，单位为米 (m)；

ν ——空气的运动粘度，单位为平方米每秒 (m^2/s)。

公式中的空气运动粘度 ν ，普朗特数 Pr 根据定性温度在干空气物理性质表 A.1 中查取。空气的体积膨胀系数 β 也用定性温度按公式 (14) 计算：

$$\beta = \frac{1}{273+t} \dots\dots\dots (14)$$

式中:

β ——空气体积膨胀系数, 单位为每摄氏度 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$);

t ——空气定性温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

定性温度用公式 (15) 计算:

$$t = \frac{1}{2} \times (t_w + t_f) \dots\dots\dots (15)$$

式中:

t ——空气定性温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_w ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_f ——蒸汽保温管周围环境空气温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

4.3.9 室内架空及管廊、管沟内架空蒸汽保温管道辐射放热的当量对流传热系数用公式 (16) 计算:

$$\alpha_{\tau} = \frac{\varepsilon\sigma \times ((273+t_w)^4 - (273+t_f)^4)}{t_w - t_f} \dots\dots\dots (16)$$

式中:

α_{τ} ——辐射放热当量对流传热系数, 单位为瓦每平方米摄氏度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$];

ε ——蒸汽保温管保温层外表面的黑度, 无因次, 可以参照附录 C 常用保温结构材料黑度 ε 参数进行选取;

σ ——黑体辐射常数, 单位为瓦每平方米四次方开尔文 [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{K}^4)$], 按 5.667×10^{-8} 取值;

t_w ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_f ——蒸汽保温管周围环境空气温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$)。

4.3.10 对于直埋敷设蒸汽保温管道, 线热流密度用公式 (17) 计算:

$$q = \frac{2\pi\lambda_g(t_w - t_g)}{\ln(4H/D)} \dots\dots\dots (17)$$

式中:

q ——蒸汽保温管线热流密度, 单位为瓦每米 (W/m);

λ_g ——检测区域土壤导热系数, 单位为瓦每米摄氏度 [$\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$];

t_w ——蒸汽保温管保温结构外表面温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

t_g ——检测区域深度等于 H 且不受检测管线温度场影响位置的土壤温度, 单位为摄氏度 ($^{\circ}\text{C}$);

H ——受检管道中心线土壤埋深, 单位为米 (m);

D ——蒸汽保温管总保温层外径, 单位为米 (m)。

当不能取得土壤导热系数值时, 可参考附录 B 选取。一般情况下可以取 λ_g 等于 $1.5 \text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ 。

4.4 热流计法

4.4.1 由热流传感器和显示仪表组成的热流计, 可用于测量蒸汽保温管保温结构的散热强度。热流计法适用于实验室检测及在线架空敷设热网检测。

4.4.2 保温管道线热流密度用公式 (18) 计算:

$$q_L = c \times E \times \pi \times D \dots\dots\dots (18)$$

式中:

q_L ——保温管线热流密度, 单位为瓦每米 (W/m);

c ——测头系数, 单位为瓦每平方米毫伏 [$\text{W}/(\text{m}^2 \text{mV})$];

E ——热流传感器的输出电势, 单位为毫伏 (mV);

D ——管道总保温层外表面直径, 单位为米 (m)。

热流传感器系数 c 按 GB/T 10295 给定的方法标定。

4.5 热平衡法

4.5.1 热平衡法适用于在线蒸汽管网的保温效果检测, 也适用于局部蒸汽管道的保温效果检测。

4.5.2 受检管线热平衡关系式如下:

$$G_i h_i - G_0 h_0 = 3.6 \times q \times (1 + \gamma) \times L + G_c h_s \dots\dots\dots (19)$$

式中:

- G_i ——进入受检蒸汽保温管线的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；
 h_i ——进入受检蒸汽保温管线蒸汽的焓值，单位为千焦耳每千克（kJ/kg）；
 G_o ——流出受检蒸汽保温管线的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；
 h_o ——流出受检蒸汽保温管线蒸汽的焓值，单位为千焦耳每千克（kJ/kg）；
 q ——蒸汽保温管线热流密度，单位为瓦每米（W/m）；
 γ ——受检管线附加散热系数，无因次；
 L ——受检管线长度，单位为千米（km）；
 G_c ——检测管段生成的冷凝水量，单位为吨每小时（t/h）；
 h_s ——冷凝水焓值，单位为千焦耳每千克（kJ/kg）。

公式（19）中受检管线的蒸汽管道管径及保温结构应为同一种规格。管线中间不允许有分支分流蒸汽。管线入口、出口蒸汽压力温度应保持稳定。除了测定管线入口和出口蒸汽流量外，还应同时测量管线入口、出口蒸汽的压力和温度。根据入口、出口蒸汽压力、温度到水蒸汽性质表中可查得入口、出口蒸汽焓值 h_i 和 h_o 。

4.5.3 热平衡法不能直接测出受检管线保温结构的线热流密度 q 和附加散热系数 γ 。当需要给出 q 和 γ 值时，可结合4.2条保温层间温差法、4.3条表面温度法或4.4条热流计法先测出受检管线平均线热流密度 q ，然后计算出管线附加散热系数 γ 。

5 测试分级和条件

5.1 测试分级

5.1.1 一级测试应采用不少于两种测试方法，并对照、同步进行；二级、三级测试可采用一种测试方法。

5.1.2 一级测试的测试截面和传感器的布置密度应相对二、三级测试的大。

5.1.3 不同等级的测试应选用相应等级准确度要求的测试仪器、仪表。

5.2 测试条件

5.2.1 一级测试应采用包含热平衡法在内两种以上现场检测方法进行检测，并且对不同检测方法的结果进行对比验证，检测位置应选取具有代表性的管段进行测试，并且每个检测截面至少布置5个径向的检测点阵列。

5.2.2 二级测试检测位置应选取具有代表性的管段进行测试，并且每个检测截面至少布置4个径向的检测点阵列。

5.2.3 三级检测可采用一种检测方法进行检测，检测位置应选取具有代表性的管段进行测试，并且每个检测截面至少布置3个径向的检测点阵列。

5.2.4 进行检测前应告知管网运行方相关的管线运行参数条件，并保持运行过程的调节控制，且测试工作应在稳定参数条件运行至少3小时后开始。

5.2.5 管网的检测应选取具有代表性的管段进行检测

5.2.6 对于干线为多规格的管网检测应进行逐个规格分段检测。

5.3 测试仪器、仪表

5.3.1 检测所使用的仪器仪表应在校验有效期内，并且量程选取应合理，按照预估的检测结果选取合适量程的仪器仪表。

5.3.2 根据GB/T 28638—2012第5.3条，检测过程采用的仪器应符合表3的规定。

表3 检测用仪器、仪表的准确度

测试项目	测试仪器仪表	单位	准确度		
			一级	二级	三级
外形尺寸	钢直尺、钢卷尺	mm	0.5	1.0	1.0
介质温度	温度计	°C	0.1	0.2	0.5
介质压力	压力表	/	0.4%	1.0%	1.0%
蒸汽流量	流量计	/	1.0%	1.5%	1.5%
保温层厚度	游标卡尺	mm	0.02	0.02	0.02
保温层界面温度	热电偶、热电阻	°C	0.5	1.0	1.0
表面温度	热电偶、热电阻	°C	0.5	1.0	1.0
	表面温度计	°C	0.5	1.0	1.0
	红外测温仪	°C	0.5	1.0	1.0
热流密度	热流计	/	4%	6%	8%
环境温度、地温	温度计	°C	0.5	1.0	1.0
环境风速	风速仪	/	5%	10%	10%

6 检测程序

6.1 检测准备

6.1.1 根据检测任务需求评定检测等级。

6.1.2 对所需要检测的管网进行现场查看，按照检测等级准备检测所需仪器、仪表，选定检测测量点，编制相应的检测方案，方案应包括但不限于以下内容：

- a) 所要检测管网的相关参数，包括设计参数、运行年限、运行形式等；
- b) 参与本次检测作业的人员以及职能分配；
- c) 管网检测的方法选定以及要求的运行调控准备；
- d) 需要加装检测仪器仪表的位置以及选定管段的位置定位记录；
- e) 检测作业步骤，包括启动准备、过程操作、终止措施；
- f) 数据记录表。

6.1.3 确定管网检测的起点终点，进行区间分段，设置相关的保护措施等。

6.1.4 对检验过程所需要用到的仪器仪表进行检验，确认其符合检测等级的需求。

6.1.5 与管网的运行方进行协调，确定检测日期，准备管网的工况调整。

6.2 检测仪器仪表的布置

6.2.1 按照检测方案在管网上加装检测用的仪器、仪表，按照不同的检测方法要求进行对应形式的安装。

6.2.2 每个检测截面应至少有1个径向上安装有备份检测仪器仪表。

6.2.3 对安装好的仪器仪表进行编号记录，登记到方案对应的数据记录表中。

6.2.4 仪器仪表加装布置完成后需要恢复蒸汽管道的保温结构材料的初始状况。

6.2.5 检测操作完成后对检测仪器仪表加装位置的保温材料进行密封取样保存，备作现场检测数据分析需求。

6.3 检测过程操作

6.3.1 检测数据记录应按照各检测方法进行读取，根据检测方法参照附录D 管网检测数据和数据处理记录表进行记录，登记到相应的记录方案中。

6.3.2 检测过程数据出现较大差异时，应在本轮检测记录完成后进行重复测定。

6.3.3 检测过程重复出现数据波动差异的检测点应选取另外一种检测方法进行检验对照测定，并根据测定结果进行对照，确定数据的有效性。

6.3.4 检测操作过程应遵守仪器仪表的操作要求。

7 检测数据误差

7.1 数据误差分析和处理

7.1.1 测量数据的误差来源于所采用的仪表的误差、检测方法误差、检测操作以及读数误差、运行工况不稳定以及环境条件变化造成的误差等。

7.1.2 检测过程出现数据误差时，应按照本文件 6.3.2 条和 6.3.3 条进行复核。

7.1.3 检测过程出现的数据误差应通过其他检测方法进行验证和理论分析判断是否合理。

7.1.4 管网的检测过程出现数据误差应优先联系运行方获取运行数据，进行分析判断，并根据分析结果决定数据的抛弃或采用。

7.1.5 单个测点的数据单次误差可以剔除，采用该点全程测量数据平均值进行代替。

7.1.6 检测过程单个测点多次出现明显不合理的数据误差时，应将该测点的数据全部剔除作废，不纳入数据处理的有效数据。

7.2 数据误差范围

7.2.1 对检测数据的误差范围进行计算，并按照仪器仪表的准确度上下限进行分析。

7.2.2 一级和二级检测应按 JJF 1059 对各参数的测定给出的测量不确定度分析，按照 A 类和 B 类评定方法计算合成不确定，并给出扩展不确定度评定。根据 GB/T 28638—2012，测试结果的综合误差不应超过 10%，重复性测试误差不应超过 5%。

7.2.3 三级检测应进行误差评估，测试结果的综合误差不应超过 15%，重复性测试误差不应超过 8%。

8 测试结果评定

8.1 蒸汽管网热效率

8.1.1 蒸汽管网热效率

蒸汽管网热效率按公式（20）计算：

$$\eta = \frac{\sum(G_n \cdot h_n \cdot \tau)}{\sum(G_o \cdot h_o \cdot \tau)} \quad (20)$$

式中：

η ——管网热效率，%；

G_n ——第 n 个用户从热网取得的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；

h_n ——第 n 个用户从热网取得蒸汽的焓值，单位为千焦耳每千克（kJ/kg）；

τ ——管网运行时间，单位为小时（h）；

G_o ——热网从热源取得的蒸汽量，单位为吨每小时（t/h）；

h_o ——热网从热源取得蒸汽的焓值，单位为千焦耳每千克（kJ/kg）。

8.1.2 蒸汽管网热效率分别有日平均热效率、月平均热效率和年平均热效率。

8.1.3 蒸汽管网瞬时热效率不作考评。根据 GB/T 28638—2012 中 9.2 条管网年平均热效率应达到 92% 以上。

8.2 蒸汽管网的质量管损

蒸汽管网的质量管损用公式（21）计算，其中涉及到的流量应是同一时间间隔内管网入口以及管网各终端的流量：

$$\gamma_c = \frac{G_o - \sum G_{ei}}{G_o} \quad (21)$$

式中：

γ_c ——管网蒸汽质量损失率，记录为百分比数值（%）；

G_o ——管网入口蒸汽流量，单位为吨每 24 小时（t/24h）；

G_{ei} ——管网各终端蒸汽流量，单位为吨每 24 小时（t/24h）。

8.3 蒸汽管网的比压降

只对蒸汽管网干线考评比压降。在设计流量下，蒸汽管网干线的比压降不宜大于 0.03 MPa/km。

检测取值时管网工况应稳定，且应接近设计工况。当取值时管线中流量不等于设计流量，可用下列方法予以修正：

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\Delta P'}{L} \times \left(\frac{G}{G'}\right)^2 \times \left(\frac{\rho_m'}{\rho_m}\right) \dots\dots\dots (22)$$

式中：

- G ——管线设计流量，单位为吨每小时（t/h）；
- G' ——管线检测的流量，单位为吨每小时（t/h）；
- ρ_m ——管线中蒸汽设计工况平均密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- ρ_m' ——管线中蒸汽检测工况平均密度，单位为千克每立方米（kg/m³）。
- ΔP ——设计工况下管线蒸汽压降，单位为兆帕（MPa）；
- $\Delta P'$ ——检测测得的管线蒸汽压降，单位为兆帕（MPa）；
- L ——管线长度，单位为千米（km）。

蒸汽平均密度根据管线中蒸汽平均压力和平均温度用公式（23）和（24）计算。

$$\rho_m = \frac{18.88P_m}{0.01 \times t_m - 2.2045 \times 10^{-1} \times P_m + 2.11} \dots\dots\dots (23)$$

式中：

- ρ_m ——管线中蒸汽设计工况平均密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- P_m ——管线中蒸汽设计工况平均压力，单位为兆帕（MPa）；
- t_m ——管线中蒸汽设计工况平均温度，单位为摄氏度（℃）。

公式（23）适用于温度在 160℃ ≤ t < 250℃ 范围，压力在 0.58MPa ≤ P ≤ 1.5MPa 范围的蒸汽。

$$\rho_m = \frac{19.44 \times P_m}{0.01 \times t_m - 1.467 \times 10^{-1} \times P_m + 2.1627} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

- ρ_m ——管线中蒸汽设计工况平均密度，单位为千克每立方米（kg/m³）；
- P_m ——管线中蒸汽设计工况平均压力，单位为兆帕（MPa）；
- t_m ——管线中蒸汽设计工况平均温度，单位为摄氏度（℃）。

公式（24）适用于温度在 250℃ ≤ t < 400℃ 范围，压力在 0.58MPa ≤ P ≤ 2.0MPa 范围的蒸汽。

8.4 蒸汽管网的比温降

8.4.1 饱和蒸汽管网不作比温降考评。蒸汽管网下游进入饱和状态的管段不纳入考评管线长度。

8.4.2 测定比温降时，应同时测定管道流量。检测取值时管网工况应稳定，不宜小于 40% 的设计流量，不同流量时的测定值应按下列方法予以修正：

$$\frac{\Delta t}{L} = \frac{\Delta t'}{L} \times \frac{G'}{0.4 \times G} \dots\dots\dots (25)$$

式中：

- Δt ——检测到的管段入口蒸汽温度和出口蒸汽温度的落差，单位为摄氏度（℃）；
- L ——所检测的管网管段入口至出口长度，单位为米（m）；
- G' ——蒸汽管网中测量管段实测流量，单位为吨每小时（t/h）；
- G ——蒸汽管网中测量管段设计流量，单位为吨每小时（t/h）。

8.4.3 蒸汽管网的干线在 70% 的设计流量时，比温降不宜大于 4℃/km。

8.5 蒸汽管网管线的线热流密度

各种规格的蒸汽管道在不同蒸汽温度下的线热流密度推荐值列于表 4。取环境温度 20℃，括号内为容许值。

表4 蒸汽保温管线热流密度

单位为瓦每米

管道公称尺寸 DN/mm	温度 (°C)										
	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	350
DN100	29 (33)	35 (40)	41 (46)	47 (53)	53 (60)	60 (68)	67 (76)	75 (85)	82 (93)	90 (103)	96 (109)
DN125	32 (36)	38 (43)	44 (50)	51 (57)	58 (65)	65 (74)	73 (82)	81 (91)	89 (101)	98 (111)	104 (117)
DN150	34 (37)	41 (44)	47 (51)	54 (59)	62 (67)	70 (75)	78 (84)	87 (93)	96 (103)	105 (113)	112 (120)
DN200	38 (43)	45 (51)	52 (60)	60 (69)	68 (79)	77 (89)	86 (99)	95 (110)	105 (121)	116 (133)	123 (142)
DN250	42 (50)	50 (60)	58 (70)	67 (80)	76 (91)	86 (103)	96 (115)	106 (128)	117 (141)	129 (155)	139 (164)
DN300	44 (52)	53 (62)	61 (73)	71 (83)	80 (95)	90 (107)	101 (120)	112 (133)	124 (147)	136 (161)	146 (171)
DN350	46 (56)	55 (66)	64 (78)	74 (89)	84 (102)	94 (114)	106 (128)	117 (142)	129 (157)	142 (172)	150 (182)
DN400	50 (59)	60 (70)	70 (82)	80 (94)	91 (107)	103 (120)	115 (135)	128 (150)	141 (165)	155 (181)	164 (192)
DN450	53 (62)	63 (74)	74 (86)	85 (99)	96 (113)	109 (127)	122 (142)	135 (158)	149 (174)	164 (191)	174 (203)
DN500	53 (63)	63 (74)	73 (87)	84 (100)	96 (113)	108 (128)	121 (143)	134 (159)	148 (175)	162 (192)	172 (204)
DN600	58 (69)	69 (82)	81 (95)	93 (110)	106 (125)	119 (141)	133 (157)	148 (175)	163 (193)	179 (212)	190 (225)
DN700	61 (74)	73 (88)	85 (103)	98 (118)	111 (134)	125 (151)	140 (169)	156 (188)	172 (207)	189 (228)	200 (242)
DN800	66 (88)	78 (94)	92 (110)	105 (127)	120 (144)	135 (162)	151 (182)	168 (202)	185 (223)	203 (244)	215 (259)
DN900	69 (82)	82 (97)	96 (114)	110 (131)	125 (149)	141 (168)	158 (188)	175 (208)	193 (230)	212 (252)	225 (268)
DN1000	70 (84)	83 (100)	97 (117)	112 (134)	127 (153)	143 (172)	160 (193)	178 (214)	196 (236)	216 (259)	229 (276)

8.6 蒸汽管网管线的附加散热系数

蒸汽管网管线的附加散热系数应小于 0.2。

8.7 直埋敷设蒸汽保温管保温层外表面温度

直埋敷设蒸汽保温管外表面温度应不大于 50℃，管件外表面温度应不大于 60℃。

8.8 蒸汽管网的量长比

蒸汽管网各管线的量长比依照蒸汽管管径和管线入口焓值来定。表 5 中给出了在良好保温状况下，蒸汽管网的最小量长比。

表5 蒸汽管网最小量长比

单位为吨每小时千米

管道公称尺寸 DN/mm	压力/MPa																
	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	2.0	2.0	2.0	2.5	2.5	2.5
	温度/℃																
	180	190	200	210	220	230	240	250	260	280	300	320	340	350	320	340	350
DN100	1.1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.6	2.1	2.2	2.4
DN125	1.2	1.3	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.8	2.2	2.4	2.6
DN150	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.4	2.6	2.9	3.0	2.4	2.6	2.8
DN200	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.7	3.0	3.2	3.4	2.6	2.9	3.0
DN250	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.7	2.9	3.2	3.4	3.6	3.0	3.2	3.4
DN300	1.5	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.4	2.5	2.8	3.0	3.3	3.6	3.7	3.1	3.4	3.6
DN350	1.6	1.7	1.8	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.6	2.8	3.1	3.4	3.7	3.8	3.3	3.5	3.7
DN400	1.6	1.7	1.8	2.0	2.1	2.2	2.3	2.5	2.6	2.9	3.1	3.4	3.7	3.8	3.6	3.9	4.0
DN450	1.8	1.9	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.7	2.8	3.1	3.4	3.7	4.1	4.2	3.8	4.1	4.3
DN500	1.8	1.9	2.0	2.2	2.3	2.4	2.6	2.7	2.9	3.2	3.4	3.8	4.1	4.2	3.7	4.0	4.2
DN600	2.0	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.2	3.6	3.9	4.3	4.6	4.8	4.1	4.4	4.7
DN700			2.5	2.7	2.8	3.0	3.2	3.4	3.5	3.9	4.3	4.6	5.0	5.2	4.3	4.7	4.9
DN800			2.7	2.9	3.1	3.2	3.4	3.6	3.8	4.2	4.6	5.0	5.4	5.6	4.7	5.0	5.3
DN900			2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	4.0	4.2	4.6	5.0	5.5	5.9	6.1	4.9	5.3	5.6
DN1000			3.2	3.4	3.6	3.8	4.1	4.3	4.5	5.0	5.4	5.9	6.4	6.7	4.9	5.4	5.7

注：从热源点起算，最大管径对应全网延伸到各支线最远敷设距离长度之和为其计算长度。次一级管径从其入口起到各最远点敷设长度之和为其计算长度。再次一级管径及以下口径管线依此类推。

9 检测报告

9.1 报告内容

检测报告应包括但不限于以下内容：

- a) 检测任务来由以及所检测管网的概况、设计参数和检测段的参数状况；
- b) 参与本次检测作业的人员以及职能分配；
- c) 选用的检测方法以及理由，所选配的检测仪器、仪表的性能记录；
- d) 检测方案；
- e) 检测过程的气候情况记录；
- f) 数据分析处理方法以及结果；
- g) 检测数据的不确定度分析计算；
- h) 检测过程异常数据的处理以及异常情况说明；
- i) 检测管网检测段具有代表性的照片状况记录。

9.2 报告的出具以及保存

- 9.2.1 管网检测报告由检测方出具，管网运行方对过程管网运行数据记录确认，检测方对其余数据确认。
- 9.2.2 检测过程原始数据和分析处理数据由检测方保存，委托方可以要求检测方提供复制件。
- 9.2.3 检测报告至少一式两份，由检测方和委托方分别保存。

附录 A

(资料性)

干空气物理性质参考值

表A.1给出了干空气物理性质参考值。

表A.1 干空气物理性质参考值

t (°C)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg·°C)	$\lambda \times 10^2$ (W/m·°C)	$\alpha \times 10^6$ (m ² /s)	$\mu \times 10^6$ (kg/m·s)	$\nu \times 10^6$ (m ² /s)	Pr
0	1.293	1.005	2.44	18.8	17.2	13.28	0.707
10	1.247	1.005	2.51	20.0	17.6	14.16	0.705
20	1.205	1.005	2.59	21.4	18.1	15.06	0.703
30	1.165	1.005	2.67	22.9	18.6	16.00	0.701
40	1.128	1.005	2.76	24.3	19.1	16.96	0.699
50	1.093	1.005	2.83	25.7	19.6	17.95	0.698
60	1.060	1.005	2.90	27.2	20.1	18.97	0.696
70	1.029	1.009	2.96	28.6	20.6	20.02	0.694
80	1.000	1.009	3.05	30.2	21.1	21.09	0.692
90	0.972	1.009	3.13	31.9	21.5	22.10	0.690
100	0.946	1.009	3.21	33.6	21.9	23.13	0.688

注: $p = 1.01325 \times 10^5 \text{ Pa} \approx 760 \text{ mmHg}$

附录 B

(资料性)

土壤导热系数

表B.1 给出了土壤导热系数参考值。

表B.1 土壤导热系数

土壤		湿度 (%)	λ [W/(m·°C)]	
			融化状态	冻结状态
粗砂 (1mm~2mm)	密实的	10	1.74~1.35	1.98~1.35
		18	2.78	3.11
粗砂 (1mm~2mm)	松散的	10	1.28	1.40
		18	1.97	2.68
细沙和中砂 (0.25mm~1mm)	密实的	10	2.44	2.50
		18	3.60	3.80
	松散的	10	1.74	2.00
		18	3.36	3.50
不同粒度的干砂		1	0.37~0.48	0.27~0.38
砂质粉土、粉质黏土、粉土、融化土		15~26	1.39~1.62	1.74~2.32
黏土		5~20	0.93~1.39	1.39~1.74

附 录 C
(资料性)

常用保温结构材料黑度 ε 参数

表 C.1 给出了常用保温结构材料黑度 ε 参数。

表C.1 常用保温结构材料黑度 ε 参数

表面材料		ε
铝材	光亮表面	0.05
	氧化表面	0.13
电镀金属薄板	洁净表面	0.26
	积满灰尘	0.44
奥氏体薄钢板		0.15
铝锌薄板		0.18
非金属表面材料		0.94

附 录 D
(资料性)
管网检测数据和数据处理记录表

D.1 层间温度法测量记录表

层间温度法测量数据可按照表D. 1进行记录。

D. 1 层间温度法测量记录表

保温管道规格		保温结构		
检测截面位置		检测位置编号		
	A 向	B 向	C 向	……
第一层温度/℃				
第二层温度/℃				
第三层温度/℃				
……				
环境温度		风速 m/s		
记录时间:	记录人:		记录编号:	

D.2 表面温度法/热流计法测量记录表

表面温度法/热流计法测量数据可按照表D. 2进行记录。

D. 2 表面温度法/热流计法测量记录表

保温管道规格		保温结构				
检测截面位置		检测位置编号				
记录时间	表面测点 1/℃	表面测点 2/℃	表面测点 3/℃	……	环境温度	风速 m/s
记录人:	记录编号:					

D.3 热平衡法测量记录表

热平衡法测量数据可按照表D. 3进行记录。

D. 3 热平衡法测量记录表

进口位置		出口位置		管段长度km:				
记录时间	进口压力 MPa	进口温度 ℃	进口流量 t/h	出口压力 MPa	出口温度 ℃	出口流量 t/h	环境温度 ℃	风速 m/s
……								
记录人:	记录编号:							

D.4 电功率法测量记录表

电功率法数据可按照表D.4进行记录，应注意各层测点的数量以及布置情况应按照实际的检测试件的规格进行设定，并且满足最低要求。

D.4 电功率法测量记录表

实验时间：		实验操作人																	
测量 时间	主加热段测点℃								补偿段 1 ℃			补偿段 2 ℃			环境 温 度℃	工主加热 段内腔温 度℃	主加热 段电耗 kWh	补偿段 1 电耗 kWh	补偿段 2 电耗 kWh
	第一层测 点 ℃		第二层测 点 ℃		第三层测 点 ℃		第 n 层测 点 ℃		测点 编号	测点 编号	测点 编号	测点 编号	测点 编号	测点 编号					
	编 号	编 号	编 号	编 号	编 号	编 号	编 号	编 号											

D.5 管道保温效果测试结果记录表

管道保温效果测试结果可按照以下形式进行记录。

管道名称：

检测人：

检测时间： 年 月 日 时 分

保温结构尺寸	mm	工作管 d_0	第一保温层 d_1	第二保温层 d_2	第三保温层 d_3	空气层 d_4
层间界面温度	°C	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4
导热系数	W/(m°C)		λ_1	λ_2	λ_3	λ_e
保温材料修正系数	/		K_1	K_2	K_3	
土壤温度	°C		管中心深度	mm		
土壤导热系数	W/(m°C)					
环境空气温度	°C					
环境风速	m/s					
管道散热量	w/m					
注：1、 t_0 是工作管表面温度，等同于蒸汽温度； 2、采用层间温度法时填写 $d_1\sim d_3$ 、 $t_1\sim t_3$ 、 $\lambda_1\sim\lambda_3$ 、 $K_1\sim K_3$ ； 3、若不采用层间温度法，上述参数可以不填写； 4、土壤温度、土壤导热系数及管中心深度在进行埋地保温管道检测时候填写； 5、 λ_e 是空气层当量导热系数。						

D.6 热平衡法测试蒸汽管道散热损失记录表

热平衡法数据可按照表D.6进行记录。

D.6 热平衡法测试蒸汽管道散热损失记录表

进口蒸汽流量 t/h		出口蒸汽流量 t/h		冷凝水量 t/h	
进口蒸汽压力 MPa		出口蒸汽压力 MPa		饱和管段压力 MPa	
进口蒸汽温度°C		出口蒸汽温度°C		饱和管段温度°C	
进口蒸汽焓值 kJ/kg		出口蒸汽焓值 kJ/kg		冷凝水焓值 kJ/kg	
管段长度 km					
管段综合散热强度 $q (1+\alpha)$					
环境气温°C					